

Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 21 N° 1: 85-91. (2009)

## CONTROLADOR DIFUSO PARA LOS DISCOS PELETIZADORES DEL PROCESO DE FORMACIÓN DE PELLAS VERDES

### DIFFUSE CONTROLLER FOR THE DISKS PELLETIZING OF THE PROCESS OF FORMATION OF GREEN PELLETS

LISELYU FUKUHARA, ALFONSO ALFONSI

*Grupo de Arquitecturas de Sistemas de Control (GASC), Dpto. de Computación y Sistemas, Escuela de Ing. y Cs. Aplicadas, Núcleo de Anzoátegui, Universidad de Oriente, 6001, Barcelona, Venezuela. E-mail: asas@cantv.net*

#### RESUMEN

Se desarrolla un Controlador Difuso, para mejorar el funcionamiento operativo de los Discos Peletizadores responsables del proceso de formación de pellas verdes. Una descripción general del sistema se realizó aplicando la “Visión Amplia del Sistema” de la Metodología de Checkland. Posteriormente, los elementos básicos del Controlador se definieron del proceso de Adquisición de Conocimientos, esencialmente la Base de Reglas donde se describe la dinámica del sistema. Para diseñar y validar el Controlador a través de un proceso de simulación se utiliza la herramienta MATLAB permitiendo analizar su comportamiento. La tendencia esperada de las variables de control es satisfactoria, y el comportamiento del Controlador es más suave y menos abrupto que en el caso real ante variaciones de las condiciones iniciales.

**PALABRAS CLAVE:** Control difuso, metodología de Checkland, discos peletizadores, simulación.

#### ABSTRACT

A Diffuse Controller was developed in order to improve the operative functionality of Pelletizing Disks, in the process of the formation of green pellets. A general description of the system was made by applying the “System Wide View” Checkland Methodology. Posteriorly, the basic elements of the Controller were defined from the Acquisition of Knowledge process, essentially the Rule Base, which describes the dynamics of the system. The MATLAB tool was used to design and validate the Controller by means of a simulation process, allowing us to analyze its behavior. The expected tendency of the control variables was satisfactory and the Controller's behavior is smoother and less abrupt than in the real case scenario in the presence of variations of the initial conditions.

**KEY WORDS:** Diffuse control, Checkland methodology, Disk pelletizing, simulation.

#### INTRODUCCIÓN

Los discos peletizadores son responsables del proceso de formación de pellas en la cantidad, tamaño y características físicas deseadas, que puedan soportar el tratamiento térmico al cual serán sometidas posteriormente. Estos discos son operados manualmente con estrategias diferentes, que a menudo no son las más adecuadas, lo que trae como consecuencia, el bajo rendimiento del área, resultado del incremento de recirculado de pellas fuera de especificación, es decir, que no alcanzan la granulometría y las características mecánicas esperadas. Por otro lado, el material que llega a los discos, debe ser previamente preparado, mezclado y aglomerado, en un área llamada Preparación de Material. En la Figural, se muestra un esquema del Proceso de Peletización. La anterior pone de manifiesto que el sistema debe ser estudiado en su

ambiente, proponiendo para éste tipo de situaciones utilizar un enfoque sistémico.

El objetivo de éste aporte, es adaptar el enfoque sistémico y una herramienta fundamentada en lógica difusa a los discos peletizadores en la formación de pellas verdes, basado en conocimientos teóricos y en la experiencia e intuición humana a través de un algoritmo sencillo, expresado en lenguaje natural, que permita modelar la dinámica del sistema; que no ha sido posible describir hasta el momento por métodos tradicionales.

Las pellas son elemento principal para la producción de acero, por lo que es de vital importancia tener una buena supervisión y control de la producción de las mismas. En este sentido se han desarrollado trabajos como el presentado por Colmenares *et al.* (2006) donde

se evalúan las incidencias de las características físico-químicas del mineral de hierro en una planta de pellas. En Tibaduiza *et al.* (2008) que utilizan la lógica difusa para el control de velocidades en los procesos industriales. El aporte de Fukohara (1999), donde se desarrolló un

controlador difuso para el proceso de formación de pellas verdes de una planta peletizadora. En Bellera (2006), aplica técnicas de visión artificial conjugándola con un sistema experto en el control del tamaño de las pellas.

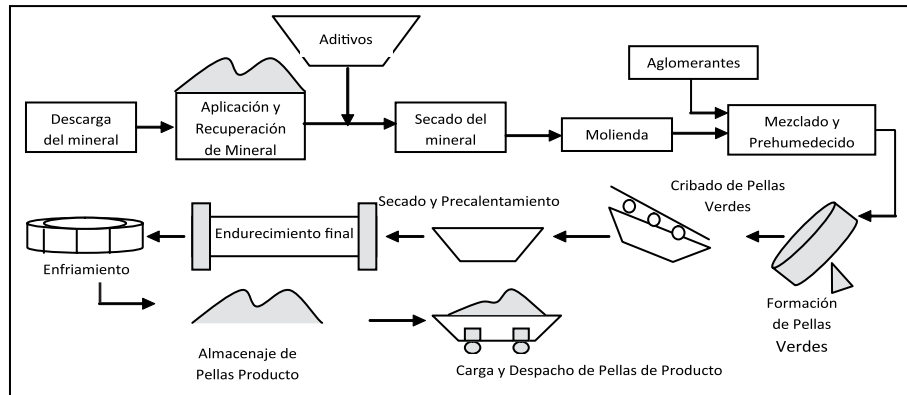


Figura 1. Esquema del proceso de Peletización de materia prima para la producción de acero en la planta de pellas OPPCA.

La importancia en esta entrega radica, en la combinación del enfoque sistémico para manejar las relaciones del sistema objeto a estudio, y la incertidumbre implícita en el proceso, con el desarrollo de un controlador difuso y que pueda servir como modelo para casos donde el factor humano tiene un alto grado de relación con los procesos a controlar.

## METODOLOGÍA

La descripción general del Área de Formación de Pellas Verdes, se realizó aplicando una adaptación de la Metodología de Checkland en la fase de expresión para sistemas blandos “Visión Amplia del Sistema” (Checkland 1993), estableciendo un contacto directo con los actores responsables del mismo, permitiendo así la obtención de los aspectos más relevantes del sistema y las interrelaciones existentes, llamado análisis de los aspectos críticos. También se determina el funcionamiento de los discos peletizadores e identificamos las variables que intervienen en el proceso, seleccionando las que regulan el funcionamiento de los discos. Luego se pasa al diseño del controlador difuso para las variables seleccionadas, estableciendo los rangos operacionales, junto a la base de conocimiento que describe la dinámica del proceso, definiendo el motor de inferencia que calcule el valor de las variables de control, para luego validar el modelo.

### Análisis de la Situación Actual del Área de Formación de Pellas Verdes

Se realizó el estudio en la Planta de Pellas OPP CA,

ubicada en Puerto Ordaz, estado Bolívar, Venezuela.

El Sistema Ampliado del Área de Formación de Pellas Verdes, Figura 2, se observa que el área se divide en Grupos de Operación de Pellas, encargados de aglomerar finos de mineral de hierro, previamente mezclados con aditivos y aglomerantes, a través de los Sistemas de Formación 51A-E o Discos Peletizadores, y el Grupo de Transportación de Materiales Reclamados, cuya función es la de transportar las pellas verdes, que cumplen con las especificaciones granulométricas deseadas hacia el Área 600 o de Endurecimiento, donde son posteriormente calcinadas (KOBELCO 1994; OPP CA 1997).

En cuanto al medio ambiente del sistema, la Gerencia General de Producción, es la encargada de planificar y controlar las actividades de producción del área, necesarias para obtener un producto de calidad, en la cantidad y en el momento oportuno, requerido por el cliente. Para realizar éstas labores se apoya en las Gerencias: Técnica, Operaciones y de Mantenimiento, y Mejoras en el Proceso.

Realizado el reconocimiento global del Área de Formación de Pellas Verdes, se detectaron un conjunto de situaciones problemáticas que convergen en el carácter manual del proceso (OPP CA 1997), La ausencia de mecanismos de control, que proporcione un alto desempeño en las tareas productivas, como lo muestra la figura 3. Aunado a las siguientes características (Wang 1997; Buckley 2005): Variación con el tiempo de las características del sistema, no linealidades en el

comportamiento del proceso, problemas de medición bajo incertidumbre, los datos que se obtienen del proceso son incompletos y/o imprecisos.

### Variables del Proceso de Formación de Pellas Verdes

El proceso de Formación de Pellas Verdes realizado en los Discos Peletizadores depende de Factores de Proceso, que determinan dinámicamente las condiciones iniciales del mismo, los Factores Mecánicos que conjugan las variables que dependen del diseño del Disco, y las variables que los operadores manipulan durante su operación; las cuales son modificadas en paradas programadas

menores o mayores de planta.

Las Variables de Operación Velocidad Rotativa e Inclinación del Disco, y Nivel de Alimentación y Humectación del Disco Pelatizador, Son aquellas que se ajustan en proceso continuo por los operadores del área. Cada una produce un efecto final en el tamaño de las pellas verdes.

Para cuantificar si los objetivos del Área de formación de pellas verdes siguen los planes establecidos de calidad y producción, se utiliza un Análisis de Distribución Granulométrico de las Pellas Verdes, lo que se conoce como: Variables de Rendimiento (Meyer 1980; OPP CA 1997).

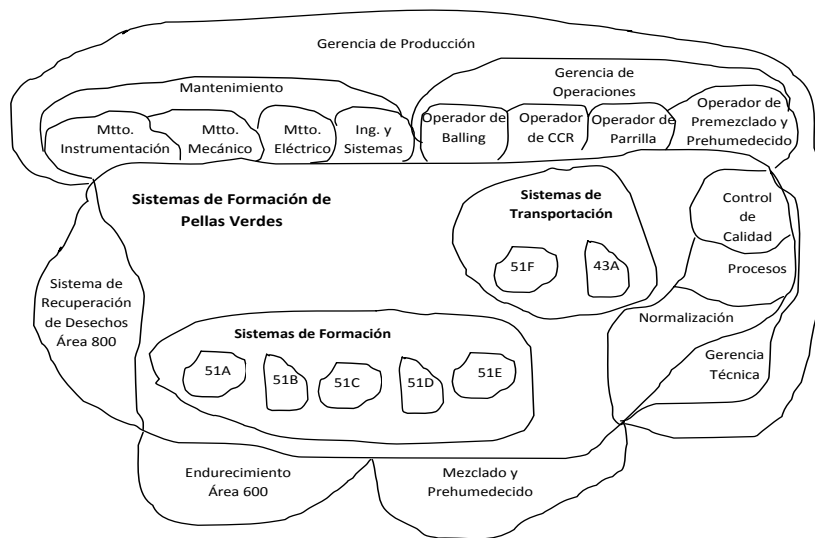


Figura 2.- Sistema Ampliado del Área de Formación de Pellas Verdes.

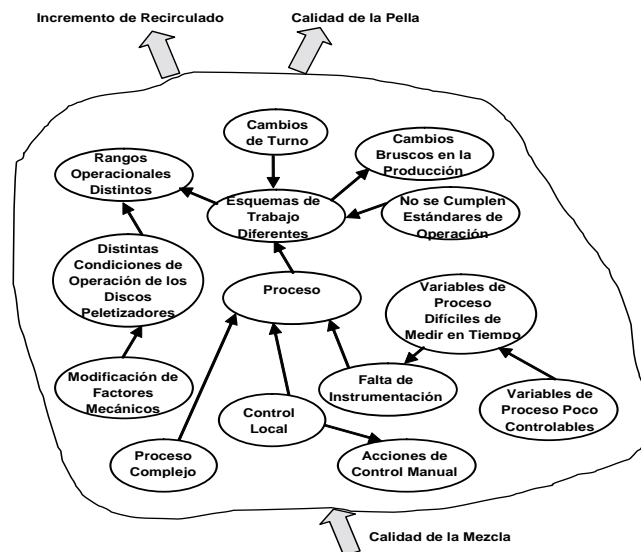


Figura 3. Focos Problemáticos del proceso de formación de pellas verdes.

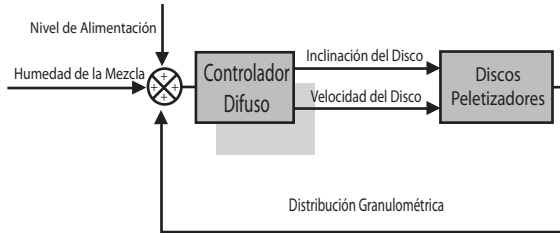


Figura 4. Esquema de control de los discos peletizadores.

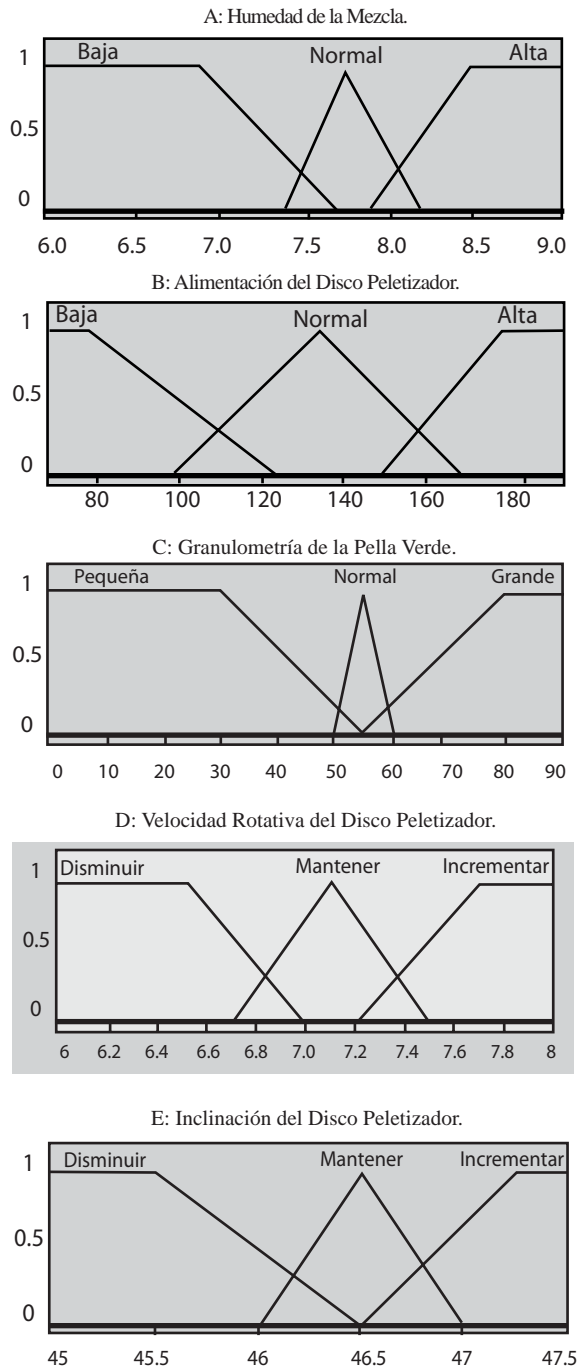


Figura 5. Funciones de pertinencia según las variables estudiadas.

En la Figura 4, se pueden observar como está finalmente constituido el Controlador, en sus entradas: Nivel de Alimentación y Humectación del Disco Peletizador, definen las condiciones iniciales del sistema, y predefinen el tamaño de la pella verde; en las salidas: Velocidad Rotativa e Inclinación de los Discos Peletizadores, definen las características granulométricas de la pella verde y pueden ser manipuladas en operación continua. Finalmente, como retroalimentación para establecer las variaciones del sistema se escogió la fracción granulométrica  $-15.9 \text{ mm} +12.63 \text{ mm}$  escala granulométrica expresado en milímetros para considerar los tamaños de la pellas.

### Diseño del Controlador Difuso

Después de seleccionar las variables que regulan el funcionamiento de los discos peletizadores, es necesario conceptualizar el funcionamiento del sistema, identificando el conocimiento del experto; para ello se recurrió a la aplicación de un conjunto de encuestas, a los operadores del Área de Formación de Pellas Verdes, que permitiesen determinar los elementos difusos básicos (Buckley 2005) del sistema: universos difusos, conjuntos difusos, valores lingüísticos y funciones de pertenencia, que se resumen en las gráficas, tanto para la entradas como para las salidas.

### Reglas Básicas del Sistema

A través de la identificación de las descripciones relacionales de las variables del sistema, con el objetivo final de control, se establecen las reglas básicas del proceso de formación de pellas verdes, mostrada en la Tabla 1. Los antecedentes de las reglas se determinaron, con ayuda de las reglas básicas, definiéndose sólo 19 de ellas.

Para determinar los consecuentes de las reglas se aplicó una segunda encuesta, con el propósito de determinar las acciones de control que contrarresten los efectos iniciales de las variables humedad de la mezcla y alimentador del disco de peletizador producir una base de reglas que garantice la estabilidad del proceso, tomando en consideración, factores como seguridad y producción.

La Velocidad Rotativa del Disco es utilizada para atenuar las variaciones de la granulometría de la pella, verde producidas por las variaciones de la humedad de la mezcla. De igual manera la inclinación del disco peletizador permite corregir las variaciones de la granulometría de la pella verde, con respecto a los Niveles de Alimentación del Disco Peletizador, tomando en consideración las posibles sobrecargas del disco peletizador que disminuyen la vida útil del equipo.

Tabla 1. Reglas básicas.

SÍ	Variables	Condición	Entonces	Tamaño de la Pella Verde
	Humedad de la Mezcla	Disminuye		Disminuye
		Aumenta		Aumenta
	Nivel de Alimentación	Disminuye		Aumenta
		Aumenta		Disminuye
	Velocidad Rotativa	Disminuye		Disminuye
		Aumenta		Aumenta
	Inclinación	Disminuye		Aumenta
		Aumenta		Disminuye

### Motor de Inferencia

Para el cálculo de las Variables de Control, basada en la Activación Individual de las Reglas, se utilizó como Método de Implicación el Mínimo, y de Agregación el Máximo (Math Works Inc. 1994; Buckley 2005).

### Validación del Controlador Difuso

Se creó un modelo del controlador utilizando el Toolbox Fuzzy de MATLAB (Math Works Inc. 1994), y se tomaron registros históricos de los reportes de operación de formación de pellas, y los análisis de distribución granulométrica de la pella verde en la descarga de los discos peletizadores del Departamento de Control de Calidad, para el Sistema de Formación 51E (Figura. 2), en un período de un mes, en intervalos de una hora, durante operación normal de la Planta.

### RESULTADOS

Para explicar las variaciones presentadas en el sistema, se procedió a ordenar la data recopilada en forma ascendente, con respecto a la variable Granulometría de la Pella Verde (Figura 6), la cual indica que existe aproximadamente un 55% de pellas verdes.

Las salidas del controlador, Velocidad Rotativa e Inclinación del disco se muestran en las Figuras 7 y 8 respectivamente, comparándolas con los registros históricos de operación.

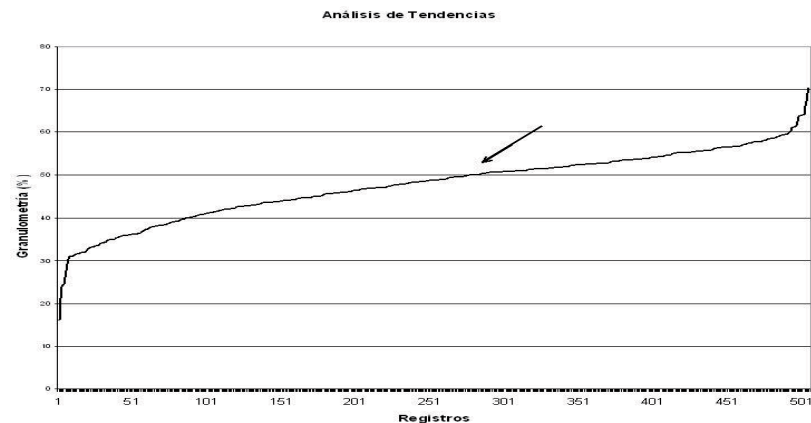


Figura 6. Granulometría de la pella verde ordenada ascendente.

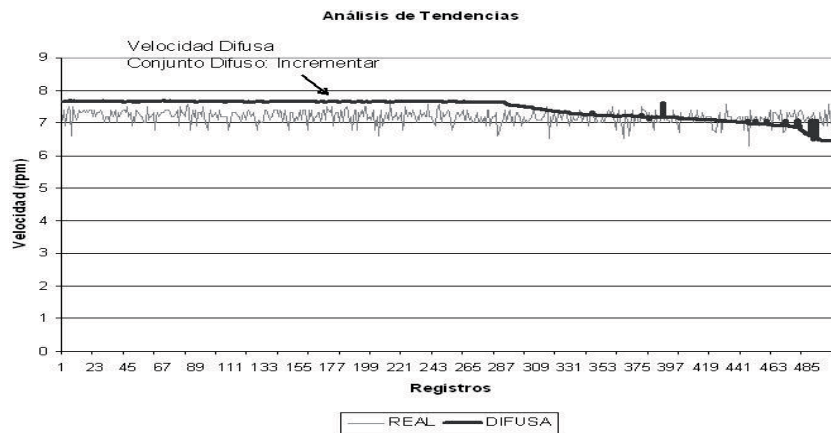


Figura 7. Velocidad rotativa real vs. velocidad rotativa difusa del disco peletizador ordenada con respecto a la variable granulometría de la pella.

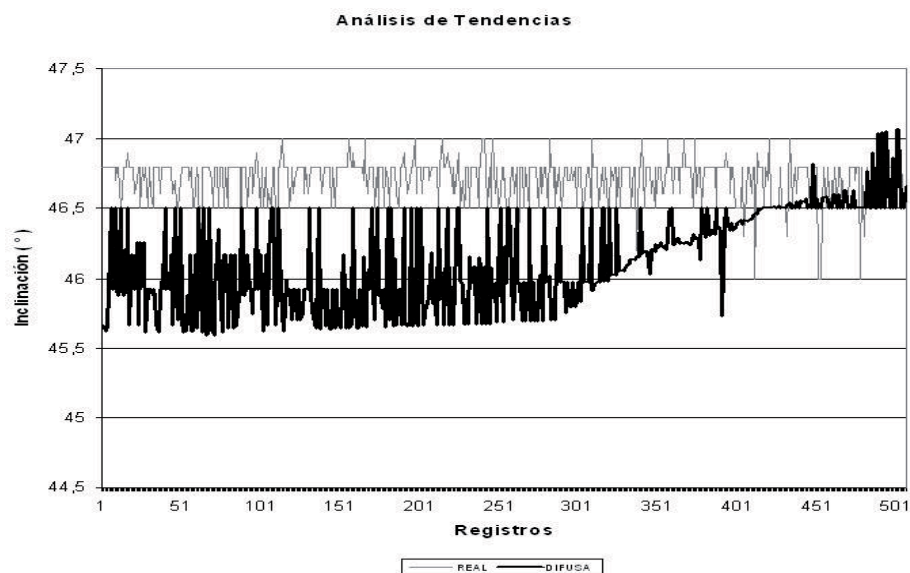


Figura 8. Modelo1. Inclinación real Vs. Inclinación difusa del disco peletizador ordenada con respecto a la variable granulometría de la pella verde.

## DISCUSIÓN

Realizado el reconocimiento global del Área de Formación de Pellas Verdes, se detectaron un conjunto de situaciones problemáticas que convergen en el carácter manual del proceso (OPP C.A. 1997), y en la ausencia de mecanismos de control, que proporcione un alto desempeño en las tareas productivas, como lo muestra la Figura 3.

El propósito de este controlador, no es el de seguir fielmente a las variables de control real, sino el de crear un control que ejerza las mejores acciones en el momento oportuno, es decir, observar la tendencia del controlador difuso, en este caso, si la velocidad rotativa del disco peletizador se “incrementa” cuando la granulometría de la pella verde es “pequeña” y, si “disminuye” en el caso contrario, así como también observar para la Inclinación del disco peletizador, si ésta se eleva o “incrementa” cuando la tendencia del tamaño de la pella verde tiende a ser “grande”, y si “disminuye” cuando la granulometría de la pella verde es “pequeña”.

En la Figura 7, se señala que a medida que las pellas verdes tienden a ser pequeñas, es necesario elevar la velocidad rotativa del disco. posteriormente la velocidad, disminuye paulatinamente en la zona indicada por la flecha, aproximándose al punto donde la tendencia del tamaño de la pella comienza a ser normal. Se puede decir que este comportamiento es satisfactorio porque sigue las variaciones del tamaño de la pella.

Para la inclinación del disco, la acción del controlador cuando la granulometría de la pella es pequeña, es retener por un tiempo más prolongado el material humedecido dentro del disco, disminuyendo la inclinación (Figura 8).

Wang (1997) propuso, con una aproximación heurística, la posibilidad de proponer soluciones factibles a largo plazo que controlen un proceso con lógica difusa. Bellera (2006), entrega un sistema experto para la formación de pellas usando técnicas de visión artificial, la cual exige un diseño incorporando otros elementos. También se visualizó que la base de conocimiento utilizada es la aportada por Fukohara (1999). Nosotros adaptamos el enfoque sistémico a este tipo de propuestas sin alterar la dinámica del sistema, solo limitada por el diseño actual de la planta, lo cual permitió incrementar la producción de pellas con especificaciones favorables, reduciendo los niveles de recirculado.

## CONCLUSIONES

Se adaptó la Metodología de Checkland en su fase de Expresión y una herramienta fundamentada en lógica difusa a los discos peletizadores en la formación de pellas verdes, basado en conocimientos teóricos y en la experiencia e intuición humana a través de un algoritmo sencillo, expresado en lenguaje natural, que permite modelar la dinámica del sistema.

Esto permitió manejar las relaciones del sistema objeto a estudio, y la incertidumbre implícita en el proceso,



dando los requerimientos necesarios para el desarrollo de un controlador difuso, pudiéndose utilizar para otra estrategia involucrada en las arquitecturas inteligentes, donde el factor humano tiene un alto grado de relación con los procesos a controlar.

Del controlador difuso, las variables de entradas y las salidas, predefinen el tamaño y definen las características granulométricas de la pella verde, observándose que la tendencia general esperada de las variables de control, fue satisfactoria y que el comportamiento del controlador, es más suave y menos abrupto que en caso real ante variaciones de las condiciones iniciales (cambios por el usuario).

Basados en la filosofía de los sistemas jerárquicos, con aproximación heurística es posible proponer soluciones factibles a largo plazo que controlen el proceso de peletización, sin alterar la dinámica del sistema limitada por su actual diseño de planta, que permitan incrementar la producción, reduciendo los niveles de recirculado.

Como extensión se propone realizar en el área de mezclado y prehumedecido el modelado utilizando la lógica difusa, para inferir el porcentaje de Humedad en la mezcla.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLERA B. 2006. Control del tamaño de las pellas en la planta de pellas de SIDOR, C.A. con técnicas de visión artificial. Trabajo de grado Ing. de Sistemas, Esc. de Ing. de Sistemas, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 152 pp.
- BUCKLEY J. 2005. Simulation fuzzy systems. Springer Verlag Ed, Berlín.
- CHECKLAND P. 1993. Pensamiento de Sistemas. Prácticas de Sistemas. Ed. Limusa, México.
- COLMENARES J., HERRERO J., VALES A., CESARE M. 2006. Evaluación de la incidencia de las características físico-químicas del mineral de hierro en el comportamiento de las áreas de molienda y secado, en la planta de pellas de CVG Ferrominera Orinoco, C.A. (PPF MO). Boletín Geominas. 34(39):3-9 pp.
- FUKOHARA L. 1999. Desarrollo de un controlador difuso para los discos peletizadores del proceso de formación de pellas verdes de una planta peletizadora. Trabajo de grado Ing. de Sistemas, Esc. Ing. y Cs. Aplicadas, Dpto. de Computación y Sistemas, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Barcelona, Venezuela. 108 pp.
- KOBELCO. 1994. Manual de Operación de Planta y Datos Técnicos Generales. 1, Venezuela.
- MATH WORKS INC. 1994. Guía de Referencia de Toolbox Fuzzy Logic. México.
- MEYER K. 1980. Pelletizing of iron ores. Springer-Verlag Ed, Berlín.
- OPP CA. 1997. Mejoras Área 500. Gerencia Técnica, Superintendencia de Operaciones. OPP C.A, Puerto Ordaz, Venezuela.
- TIBADUIZA D., DAZA C. 2008. Control fuzzy de velocidad para una transmisión hidrostática. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia. 44:137-143 pp.
- WANG L. 1997. Modeling and Control of Hierarchical System with Fuzzy Systems. Automática. 33(6):1041-1053 pp.